



Title	小麦育種における品種改良の成果と肥料反応関数
Author(s)	藤井, 陽子; 長南, 史男
Citation	北海道大学農経論叢, 62, 163-171
Issue Date	2006-03-24
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/8357
Type	bulletin (article)
File Information	62_14.pdf



[Instructions for use](#)

小麦育種における品種改良の成果と肥料反応関数

藤井陽子・長南史男

A transition of wheat breeding research and an estimation of the fertilizer reaction function

Yoko FUJII, Fumio OSANAMI

Summary

An increase in yield has been pursued mainly in wheat breeding research. The initiation of the quality-based trade may lead farmers to choose the variety based not only on the yield level, but also on the quality. Thus, an improvement in the quality, such as an increase in the protein content becomes a major subject in wheat research. It is necessary to allocate the R&D resources efficiently among the several topics.

The existing research has focused on the adoption of the technology and the diffusion process of technology. However, there has not been much discussion about the details of the technology development process.

Employing the fertilizer reaction function with technology variable "t", we found that the fertilizer has no significant effect on the protein content, while "t", the wheat breeding research, has indicated significant effect. This result implies that the wheat breeding research can take ever more active role in the field of quality improvement of wheat. In order to increase farmer's options, it is necessary to develop high protein content varieties.

1. はじめに

「新たな麦政策大綱」において「需給に即した良品質麦の生産を推進する観点から、新たな品質取引を導入すること（折原〔9〕p.71）」が決定され、麦の品質が重要視されることとなった。したがって、農家の品種選択もこれまでのような多収品種だけでなく、高品質なものも含めた幅広いものになっていくと考えられる。こうした背景をうけ、近年の小麦品種改良は、増収効果を追求するだけでなく、品質向上をも指向し、具体的には蛋白質含有量の上昇や色味といった二次加工適性の向上さえも品種改良の範疇となってきている。このように研究課題が増えつつある中では、複数ある研究課題から、優先課題をいかに設定（Norton, G., P. G. Pardy, and J. M. Alston〔7〕）し、限られた研究資源をいかに効率的に配分していく

のか、社会科学的研究手法による貢献も含め、明らかにしていくことが求められている。

ところで研究開発の成果である技術知識については、技術の採用（Feder G., R. E. Just, and D. Zilberman〔1〕）や技術の普及過程（Griliches, Z.〔2〕, 崎浦〔11〕）について論じられ、その研究蓄積は膨大な量にのぼる。これらの研究は、技術採用の意思決定が、研究成果の利用者である農家や特定の地域によってどのように異なるのか、規模などによる利潤獲得機会の差によって説明しようとするものであった。しかしながら、これら既存研究においては、研究開発段階の成果である技術、すなわち農家に提供される技術については所与とされ、利用者に提供または供給される技術に関して分析されることは少なかったといえる。また優先課題の設定に関する研究は始まったばかり

表1 小麦育種における品種改良目標の変遷

年代	育種目標	育種法や技術	背景
明治		品種比較試験 純系分離育種法	・農事試験場（西ヶ原）設置（明治26） ・畿内支場が中心に（明治36）
昭和初め	耐病性・耐湿性・ 耐寒性・耐雪性	交雑育種法	・鴻巣の他7ヶ所に試験地（昭和元年） ・育種制度始動 ・裏作振興
10年代	早生・短程・多収性		・小型機械の普及
20年代	早熟性・良質	集団育種法	・農事改良実験所に改組 ・再整備（昭和22） ・戦時下の増産および食糧確保（昭和26） ・大麦需要増大
30年代	短程・強稈・多収性 ・機械適応性	放射線による突 然変異育種法	・輸入増加，自給率低下
40年代	極早生		・乗用トラクターの普及 ・稲の移植早まり競合
50年代	品質向上	世代促進技術	・自給率向上，転作麦を中心に ・作付回復，北海道の作付拡大 ・品質問題顕在化
60年代		バイオテクノロジー	
平成		薬培養	

資料：〔5〕および〔8〕より作成。

りであり、その手法も農民への聞き取り調査(Pin-gali, P. L., S. D. Rozelle, and R. V. Gerpacio [10])がみられるものの、確立されてはいない。

そこで本稿では小麦育種を対象とし、まず研究成果がどのような変遷を辿ったのか、農林品種の特徴から明らかにしたい。その上で、肥料反応関数をもちいて品種改良の成果がどのように変わってきたのか明らかにする。

肥料反応関数をもちいる背景について、速水〔3〕, pp. 80)が「肥料投入についての収穫遞減を防ぎ、土地生産性を大幅に向上させようとするれば品種改良によって作物の肥料感応性を高めることは不可欠となる」と指摘するように、品種改良において肥料反応を高めることはひとつの品種改良目標であった。崎浦〔11〕, pp. 59)は、稲の肥料反応関数を推定し、年代とともに反応度が高まっていることを明らかにしている。以上の研究成果を踏まえ、肥料反応関数から肥料投入による収量やたんばく質含有量など各研究成果の反応を明らかにする。計測には品種改良の成果を考慮するため、技術進歩の代理変数として、品種登録年を含める。

以下、2節で品種改良目標の変遷とその成果について示し、3節では、北海道に導入された品種について肥料反応関数をもちいてその特徴を明らかにし、最後にまとめとする。

2. 育種目標の変遷と成果

表1に育種目標の変遷とその背景を示した。育種目標は耐病性から始まり、多収性、機械および肥料耐性を強化した短程、稲作との作業競合を避ける早生化などへと変化しているが、こうした育種目標は、その年代だけで終わるものではなく、既存の目標に追加されるかたちで増えていく。そして昭和50年代、品質問題顕在化をうけ、育種目標に品質向上が加わっている。

このように育種目標が変化する中で得られた成果について、子実重量（以下、収量と呼ぶ）と稈長の推移からみていく（註1）（表2）。蛋白質含有量や灰分などの品質データについては、品質試験が農林97号（キタカミコムギ）から始まっており、データ数が少ないためここでは収量と稈長のみとした。昭和20年代に進められた育種制度の再整備を踏まえ、農林1号から162号までの品種に

表2 各地における育種成果の推移

系統名別地域	期間	品種数	収量 (kg/10a)			稈長 (cm)		
			平均	最小値	最大値	平均	最小値	最大値
北見(秋播き)	I	5	239.5	169.4	274.7	104.8	84.0	126.0
	II	9	505.4 (111.0)	236.2 (39.4)	680.5 (147.7)	92.7 (-11.6)	75.0 (-10.7)	107.0 (-15.1)
北見(春播き)	II	5	317.8	201.0	435.6	95.2	78.0	116.0
	I	13	315.8	223.9	369.1	87.2	52.0	116.0
東北	II	18	376.1 (19.1)	266.0 (18.8)	456.0 (23.6)	91.6 (5.1)	79.0 (51.9)	112.0 (-3.4)
	II	7	579.9	533.4	672.8	85.9	81.0	98.0
関東・北関東	I	15	422.8	328.2	521.8	84.1	75.0	101.0
	II	10	431.7 (2.1)	350.5 (6.8)	481.0 (-7.8)	83.8 (-0.3)	79.0 (5.3)	92.0 (-8.9)
北陸	I	7	267.3	233.7	307.9	99.6	79.0	112.0
	II	4	207.0 (-22.6)	116.0 (-50.4)	299.0 (-2.9)	71.3 (-28.4)	51.0 (-35.4)	86.0 (-23.2)
近畿・東海	I	12	368.4	303.6	478.5	88.5	74.0	111.0
	II	2	352.7 (-4.3)	332.2 (9.4)	373.2 (-22.0)	85.0 (-4.0)	84.0 (13.5)	86.0 (-22.5)
山陰・中国・四国	I	10	389.1	338.1	431.6	94.3	81.0	102.0
	II	9	389.7 (0.2)	308.8 (-8.6)	465.5 (7.9)	86.9 (-7.9)	79.0 (-2.5)	96.0 (-5.9)
九州	I	8	356.4	263.8	420.0	98.3	86.0	109.0
	II	24	360.6 (1.2)	140.3 (-46.8)	477.5 (13.7)	80.8 (-17.7)	70.0 (-18.6)	92.0 (-15.6)

資料) 農林省農務局 農事改良資料第111『小麦ノ新品種 (其の一)』, 昭和11年3月
 農林省農務局 農事改良資料第115『小麦ノ新品種 (其の二)』, 昭和12年3月
 農林省農務局 農事改良資料第147『小麦ノ新品種 (其の三)』, 昭和14年3月
 農林省農政局 農事改良資料第163『小麦ノ新品種 (其の四)』, 昭和18年3月
 農林省農業改良局 農業改良技術資料第12号『小麦ノ新品種 (其の五)』, 昭和26年7月
 農林水産技術会議事務局『麦類の新品種 (昭和34年~40年)』, 昭和42年1月
 農林水産技術会議事務局『麦類の新品種 (昭和41~59)』, 昭和60年9月

註1) 期間は, 育種制度の再整備前後とし, 農林番号では農林1号~70号をI期, 71号以降をII期とした。

2) カッコ内の数字は, I期からII期への平均の変化率である。

ついて, 農林70号以前と以後にわけている。

表2に前期から後期への平均値の変化を示した。結果は, ほぼ全ての地域で, 収量増大, 短稈化が進んだ。稈長の低下率で見れば北陸が最も顕著で, 99.6cmから71.3cmとなり28.4%の短稈化に成功した。東北の稈長についてのみ, 前期から後期に移行するにつれ, 大幅に伸びているが, これは, 緑の革命に貢献した農林10号が52cmと他の東北品種に比較しても非常に短稈であったためである。

こうした各地の研究成果の中で, 最も著しい変化を示したのは北見で, 特にその増収成果は239.5kg/aから505.4kg/aへ111.0%の上昇を示した。同時に短稈化も進み, こうした多収・短稈化の品種改良は, 北海道における小麦作付面積拡大に大きく貢献し, 現在では国内産の6割以上を生

産するまでになっている。以下では, 北海道を主産地へと押し上げる原動力となった北海道導入品種について, その特徴を示し, 品種改良がどのような経過を辿ってきたのか明らかにしていく。

3. 北海道導入品種の特徴と肥料反応関数

3.1. 北海道導入品種の特徴

北海道に導入された品種を対象とし, おもに収量, 稈長, 蛋白質含有量について概観していくが, 特に, 各特性の相互関係に注目し, 収量と稈長の関係を図1に, 収量と蛋白質含有量の関係を図2に示した。収量と稈長については, 北海道導入品種の中で最も古い農林3号まで遡れるが(前掲表2と同じ資料), 蛋白質含有量については, 後掲の表3の資料をもちいているため, ハルヒカリ

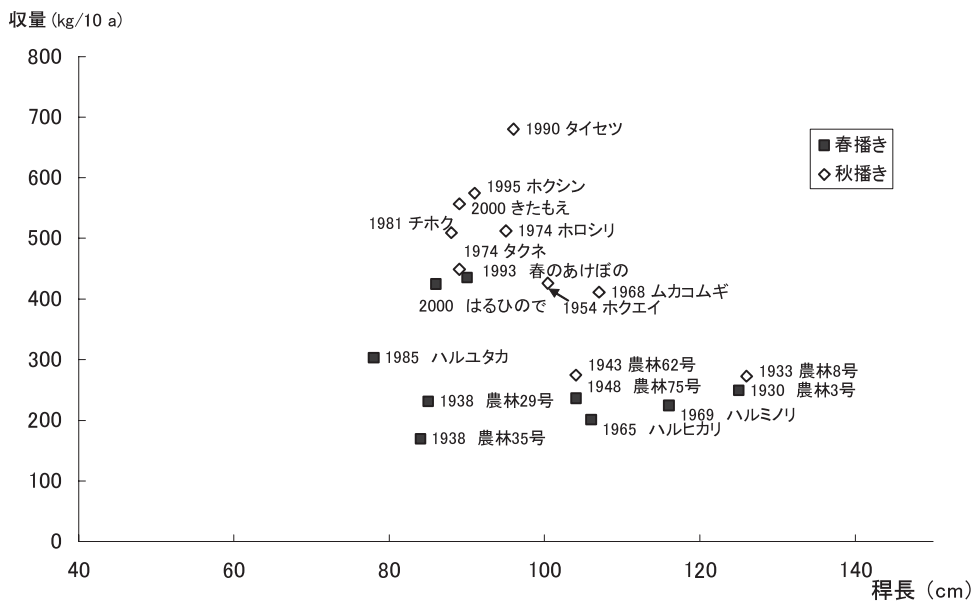


図1 北海道導入品種の稈長と収量

資料) 表2と同じ。

註) 品種名の前の数字は品種登録年を示す。

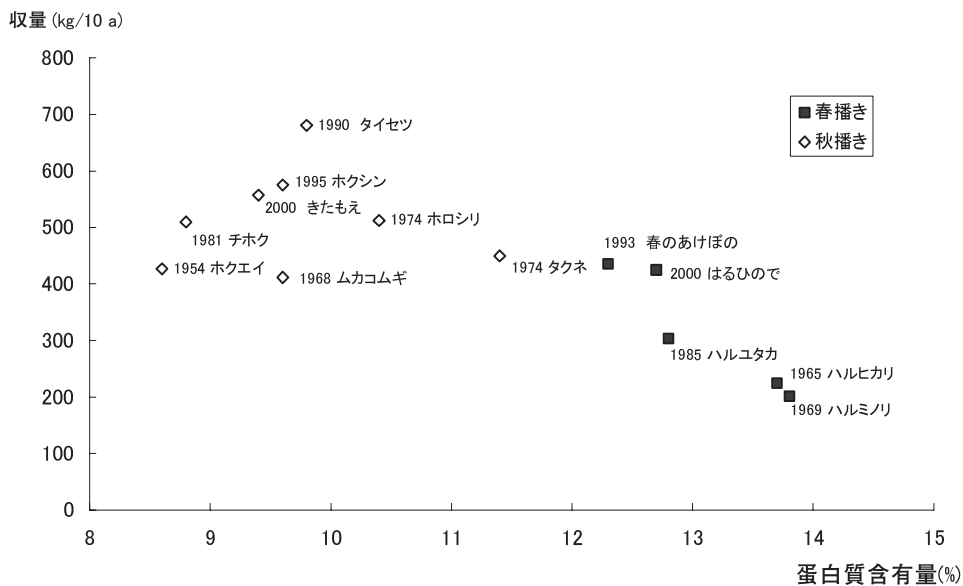


図2 北海道導入品種の蛋白質含有量と収量

資料) 後掲表3と同じ。

註) 品種名の前の数字は品種登録年を示す。

(農林104号)以降について示した(註2)。

収量と稈長の推移をみていくと、春播き小麦ではハルヒカリが登場する前、稈長は農林35号の84cmから農林3号の125cmまでと安定しておらず、収量も200kg/10a前半と低い。その後、ハルヒカリによって春播き小麦の普及をみたが、倒伏しやすく、より短稈でより多収の品種がのぞまれていた。ハルユタカによって、春播き小麦の収量は300kg/10aを越え多収短稈を実現したが、図2でみると蛋白質含有量の若干の低下をともなっている。

秋播き小麦についてみていくと、ホクエイの導入は、十勝に麦作をもたらすなど作付面積の拡大に貢献し、乾燥施設を含めた機械化体制を確立した時期に重なる(酒井[12])。つづくムカコムギ、ホロシリ、タクネの3品種は、蛋白質含有量の増加がみられるが、チホクコムギ以降は、収量増大も進んできている。

3.2. 品種改良成果の分析

(1) データ

ここでは、収量、稈長、蛋白質含有量に対する肥料反応関数を計測し、推計結果を踏まえて、これら品種改良の成果が肥料の多投化とどのように対応、変化してきたのか明らかにしていく。また、

推計には、対象品種の中で最も古いホクエイの導入年である1954年を1とする品種登録年を含め、技術の代理変数とした。品種改良がどのような方向に進んできたのか明らかにする上で重要な変数である。最後に推計結果をもちいて、品種改良の成果を①肥料反応と、②技術の代理変数をもちいた品種改良反応として、シミュレーションによってみていく。

データは各試験場が新品種を農林登録しようとする際に発行する「小麦新品種決定に関する参考成績書」から、標準、多肥、少肥栽培の試験結果を利用する。それぞれに対応する窒素投入量は同成績書の耕種概要からえた(註3)。栽培条件は、ドリル播きまたは条播きである。データの観測年は昭和40年(1965)から平成11年(1999)、観察総数は297で、品種ごとの観察数は異なっている。

品種別の平均値を春播きと秋播きにわけ表3に示した。平均でみると、収量は春播き小麦が、394.9kg/10aと秋播きの553.3kg/10aより低いが、60%粉の蛋白質含有量は12.8%となり、秋播きの9.8%に比べ高いという特徴を示した。

(2) 肥料反応関数

肥料反応関数は、①収量、②稈長、品質面で重要となる③蛋白質含有量について、それぞれ以下

表3 北海道導入品種の品種別特性

	農林 番号	品種名	品種登録年 年	稈長 (cm)	収量 (kg/10a)	原粒		60%粉		
						水分 (%)	蛋白質 (%)	水分 (%)	蛋白質 (%)	
春 播 き	104	ハルヒカリ	1965	12	104.8	348.6	1.77	14.1	0.61	13.2
	130	ハルユタカ	1985	32	85.0	412.3	1.71	14.0	0.54	13.1
	139	春のあけぼの	1993	40	89.0	416.2	1.60	13.0	0.50	12.1
	150	はるひので	2000	47	86.1	402.6	1.55	13.9	0.48	12.9
		平均		91.2	394.9	1.66	13.7	0.53	12.8	
秋 播 き		ホクエイ	1954	1	100.4	426.4	1.53	10.3	0.48	8.6
	108	ムカコムギ	1968	15	103.2	429.6	1.54	10.7	0.49	9.1
	114	ホロシリコムギ	1974	21	97.4	574.3	1.57	12.0	0.50	10.4
	115	タクネコムギ	1974	21	95.1	516.8	1.63	11.7	0.55	12.1
	126	チホクコムギ	1981	28	92.4	582.8	1.44	11.3	0.46	9.2
	136	タイセツコムギ	1990	37	89.8	711.5	1.42	11.6	0.45	9.8
	142	ホクシン	1995	42	90.1	612.5			0.42	9.7
149	きたもえ	2000	47	87.5	572.1			0.39	9.7	
		平均		94.5	553.3	1.52	11.3	0.47	9.8	

資料) 農業試験場発行、各品種の『小麦新品種決定に関する参考成績書』より作成。

註1) 各品種の標準、多肥、少肥栽培の平均値である。

2) ホクエイは昭和17年、北海道農試で交配された品種で、赤錆不知1号と東北67号を母本としている。農林登録はされていない。

の2次反応関数を最小2乗法で推計した(崎浦 [11], Traxler, G. and D. Byerlee [13], Traxler, G., J. Falck-Zepeda, J. I. Ortiz-Monasterio R., and K. Sayre [14]).

$$Y_i = \alpha_0 + \beta_0 D_{1995} + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 N + \beta_4 N^2 + \beta_5 t \cdot N + \beta_6 D + \beta_7 D \cdot t + \beta_8 D \cdot t^2 + \beta_9 D \cdot tN$$

α, β は計測すべき係数で, 変数はそれぞれ以下の通りである.

$i = w$: 収量 (kg/10a), l : 稈長 (cm),

p : 60%粉の蛋白質含有量 (%),

N = 窒素投入量 (kg/10a),

t = 品種登録年で品種改良の代理変数,

D_{1995} = 1995年ダミー,

D_s = 春播き小麦ダミー.

春播きは特に, 収量や蛋白質含有量で秋播きと異なる特徴を有するため, ダミー変数で区別した. また気候条件について, もちいるデータは栽培された年が異なることから一定ではない. この点について Traxler, G. ら [13] と Traxler, G. ら [14] は, とともに3年分のデータをもちいており, それぞれの栽培年をダミーで考慮している. 崎浦 [11] は, 10年分のデータを利用しているが栽培

年の違いについては考慮していない. 本稿では, 栽培年が1965年~1999年と長期であることから栽培年ダミーは使わず, 作況の著しく悪かった1995年の穂発芽発生のみを考慮し, 1995年ダミーとした.

蛋白質含有量を表す値には, 原粒と60%粉(註4)の含有量があるが, おもに実需者が利用する60%粉をもちいた. ちなみに原粒から60%粉への蛋白質含有量の移行率は品種や産地によって異なり一定ではない.

(3) 肥料反応関数の計測結果

計測結果を表4に示した. 係数 (β_1) で示される品種改良 t は, 収量, 稈長, 蛋白質含有量の全てで有意となり品種改良の成果が明らかとなっている. 係数 (β_3) で示される肥料反応 N は, 収量と稈長については有意な結果となったが, 蛋白質含有量については有意とはならなかった. したがって, 収量と稈長は, 窒素投入によって変化させることができるが, 蛋白については, 窒素投入には左右されないと考えられる. こうした結果を踏まえ, 蛋白については, 窒素を除いた品種改良

表4 肥料反応関数の計測結果

	収 量	稈 長	蛋 白 (1)	蛋 白 (2)
切片	306.6 (8.73) **	98.9 (40.74) **	7.76 (14.57) **	8.74 (25.14) **
1995ダミー (D_{1995})	-178.9 (-6.81) **	4.92 (2.71) **	-1.67 (-4.19) **	-1.67 (-3.99) **
t	3.93 (2.08) **	-0.40 (-3.03) **	0.08 (2.66) **	0.10 (3.85) **
t^2	-0.06 (-1.42)	-0.001 (-0.39)	-0.001 (-0.89)	-0.002 (-3.71) **
N	25.5 (2.43) **	1.41 (1.95) *	0.14 (0.86)	
N^2	-2.58 (-1.00)	-0.25 (-1.43)	0.03 (0.81)	
tN	0.14 (0.74)	0.004 (0.30)	-0.01 (-2.12) **	
春播きダミー (D_s)	-148.1 (-2.51) **	23.5 (5.75) **	4.67 (5.22) **	4.70 (5.06) **
$D \cdot t$	2.98 (0.64)	-1.91 (-5.92) **	-0.11 (-1.59)	-0.11 (-1.58)
$D \cdot t^2$	-0.01 (-0.17)	0.03 (5.72) **	0.001 (1.19)	-0.11 (1.23)
$D \cdot tN$	-0.35 (-3.57) **	-0.002 (-0.33)	0.0004 (0.24)	
R^2	0.63	0.50	0.60	0.55

註) カッコ内の値は t 値, **は5%, *は10%有意水準で有意であることを示す.

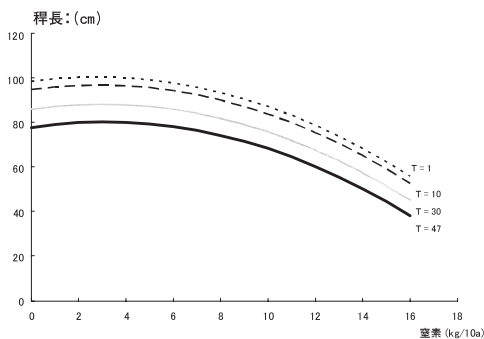


図3 秋播き小麦の年代別窒素反応（稈長）

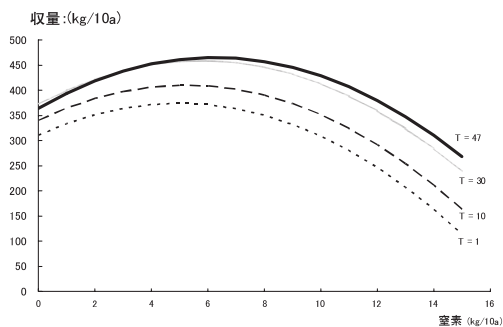


図5 秋播き小麦の年代別窒素反応（収量）

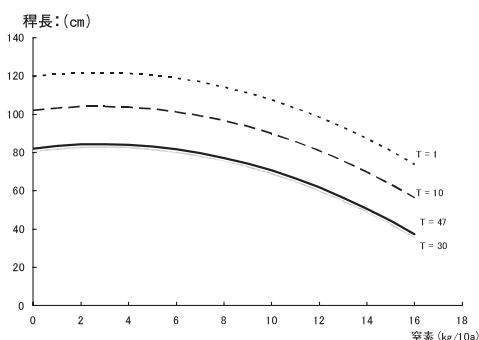


図4 春播き小麦の年代別窒素反応（稈長）

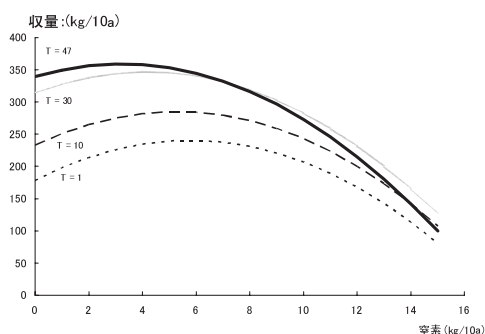


図6 春播き小麦の年代別窒素反応（収量）

(t) のみの関数としても推計した (蛋白(2)式). t で示される品種改良の係数はここでも有意な結果となり、品質向上に与える品種改良の重要性を示唆している。

(4) シミュレーション結果

以上の推計結果をもちいて、品種改良の代理変数 (t) を一定とした上で、肥料反応のシミュレーションを行った (註5)。1995年ダミー変数 = 0 とした。シミュレーションにもちいた年代 (t) はそれぞれ、1 = 1954年、10 = 1964年、30 = 1994年、47 = 2000年である。

稈長の結果について、春、秋播き別に年代 (t) 別肥料反応を示した (図3と4)。春秋ともに窒素投入レベルが $4 \text{ kg}/10\text{a}$ 前後を越えると稈長は低下し、窒素の多投入でも倒伏し難い特徴をもつことがわかる。また、肥料反応曲線が年代とともに下にシフトしていることから、品種改良は、短稈化の目標を達成してきたことがわかる。秋播きでは47年間の間に約20cm、春播きでは約40cm

の短稈化に成功している。ただし、春播きについては、 $T=30$ から $T=47$ ではほとんど変化が見られない。表3でみると、ハルユタカ ($t=32$) 以後は、稈長が80cm代で推移するなど一定の成果を挙げ、その後は育種目標が収量または蛋白質含有量の上昇へと変化した結果と考えられる。

次に、収量についても同様に肥料反応曲線を図5と図6に示した。春秋ともに肥料反応曲線が上方へシフトしていることから、同じ窒素量の下でも収量が増加する、すなわち肥料感性性を高めることによって多収化を達成してきた。ただし、秋播きの $T=47$ は若干右方向へとシフトしたことから、窒素投入レベルが低い場合収量は伸びず、窒素の更なる投入を必要とする方向へと品種改良は変化している。

春播き小麦については、秋播きとは逆に $T=47$ が左方向へシフトしたことから、逆に、窒素多投では、収量が減少し易い特徴をもつようになっている。

最後に、蛋白質含有量の推計結果は、窒素投入

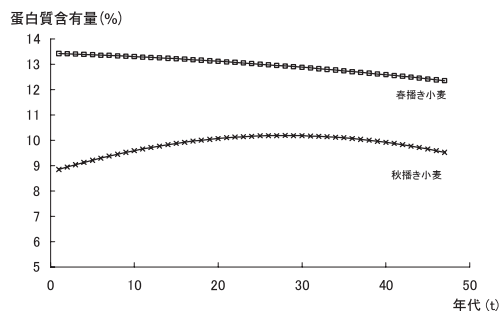


図7 春播きと秋播き小麦の蛋白質含有量の推移

に対して有意な値は得られなかったため、蛋白(2)式も計測した。結果、新品種の蛋白質含有量は、窒素投入より品種改良によって変化する可能性が高いことがわかった。すなわち、品質向上における品種改良の役割は大きく、今後品質取引が重視される中では、研究開発が今まで以上に重要となることを示唆する。以下では、蛋白(2)式をつかって、蛋白質含有量に関する品種改良による成果を示した(図7)。

春播き小麦は、もともとの蛋白質含有量は高いものの、品種改良はそれを低下させる方向にあった。収量増大を優先させた結果と考えられる。秋播きについては、図中 $t=28$ 、すなわち1981年導入の新品種までは、蛋白質含有量を増加させる品種改良が進められてきたが、その後は低下している。表3でみれば、1981年の導入品種はチホクコムギで、一般にチホクコムギはめん適性が高く、品質問題が顕在化(前掲表1)した1980年代に登場した品種である(酒井[12])。したがってチホクコムギ以後、蛋白質含有量の向上はみられないことを示した。

以上から、政府による全量買入が続き収量増大路線が維持されてきた結果、蛋白質含有量を減少させても収量を維持する品種改良が進められ、結果として品質向上の目標は反映されなくなっていったと考えられる。

4. おわりに

従来の既存研究においては、農家がどのような品種を選択するかという技術の需要面が分析され、提供される技術については所与とされてきた。本稿では、そうした技術がどのように変化してきたかという、いわば技術の供給面を、今後、品質取

引が重要視される小麦を対象として、明らかにしてきた。

肥料反応関数による分析の結果、秋播き、春播きともに窒素投入と品種改良によって、多収・短稈を達成してきたことが明らかとなった。しかしながら、蛋白質含有量については80年代以降減少する傾向にあり、品質向上は重視されてこなかった。蛋白質含有量は、窒素投入による反応は有意とはならなかったが、品種改良による反応は有意となった。したがって、従来のように窒素投入によって蛋白質含有量を上昇させることは難しい一方で、品種改良が今まで以上に重要となることを示している。

以上を踏まえれば、現段階においては、農家の品種選択は、品質を重視して選択することが難しく、したがって、より幅広い選択肢を提供するためにも、品質を重視した品種開発が重要となっている。

(註1) 本分析では、品種改良の成果を収量、稈長、蛋白質含有量の3つの成果のみに限定しており、その他の成果については言及できなかったことを断っておく。実際の品種改良においては、数値化することが難しい耐病性の向上なども課題となっており、重要な研究課題である。

(註2) 施肥条件は標準栽培とし、各資料に掲載されている数年平均値をもちいている。

(註3) 肥料名で示されている場合は、施肥量と含有率から窒素量を求めている。

(註4) 様々な等級に製粉された粉を、上級粉から順に足し合わせ、歩留まり60%にしたものが60%粉と呼ばれ、実質利用分に近いことから商業用小麦粉(**commercial flour**)とも呼ばれる。これに対し、すべての等級を足した粉をストレート粉という(長尾[6], pp.59)。

(註5) シミュレーションは窒素量0~15kg/10aとしたため、特に収量において窒素投入とともに収量が低下すると思われる範囲まで含む結果となった。農家がこうした範囲の施肥条件を選択するとは考え難いが、品種成績書においては、極多肥栽培として20kg/10aも見られるなど、幅広い施肥条件による成果が報告されていることを踏まえ、含めることとした。ちなみに、北海道農政部[4]によれば、実際の生産においては、秋播きで7~12kg/10a、春播きで6~10kg/10aが奨励

されている。

引用文献

- [1] Feder G. and R. E. Just, and D. Zilberman, "Adoption of Agricultural Innovations in Developing Countries: A Survey," *Economic Development and Cultural Change*, (1985): 255-298.
- [2] Griliches, Z., "Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change," *Econometrica*, 25 (October, 1957): 501-533.
- [3] 速水佑次郎「農業経済論」, 岩波書店, 1986.
- [4] 北海道農政部「北海道施肥ガイド」, 平成14年9月.
- [5] ムギの品種生態, 「畑作全書 ムギ類編: 基礎生理と応用技術」, 農山漁村文化協会, 1981.
- [6] 長尾精一「小麦の科学」朝倉書店, 1995.
- [7] Norton, G., P. G. Pardy, and J. M. Alston, "Economic Issues in Research Priority Setting," *American Journal of Agricultural Economics*, 74, no. 5 (1992): 1089-94.
- [8] 農林水産省農林水産技術会議事務局 昭和農業技術発達史編纂委員会 「昭和農業技術発達史 第3巻 畑作編・工芸作編」, 農山漁村文化協会, 1995.
- [9] 折原直「日本の麦政策-その経緯と展開方向-」, 農林統計協会, 2000.
- [10] Pingali, P. L., S. D. Rozelle, and R. V. Gerpacio, "The Farmer's Voice in Priority Setting: A Cross-Country Experiment in Eliciting Technological Preference," *Economic Development and Cultural Change*, (2001): 591-609.
- [11] 崎浦誠治「稲品種改良の経済分析」, 養賢堂, 1984.
- [12] 酒井勉「みのりへの道 上巻」, 日本農業新聞北海道支所, 1989.
- [13] Traxler, G. and D. Byerlee, "A Joint-Product Analysis of the Adoption of Modern Cereal Varieties in Developing Countries," *American Journal of Agricultural Economics*, 75(November, 1993): 981-989.
- [14] Traxler, G., J. Falck-Zepeda, J. I. Ortiz-Monasterio R., and K. Sayre, "Production Risk and the Evolution of Varietal Technology," *American Journal of Agricultural Economics*, 77 (February, 1995): 1-7.